



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

<<Κατανομή άνθρακα στο φυτό του switchgrass κατά την 3^η και 4^η χρονιά
εγκατάστασης στη Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα >>



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΑΕΜ:1236

ΒΟΛΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Δαναλάτο. Ν επιβλέποντα καθηγητή μου και διευθυντή του εργαστηρίου Γεωργίας και Εαρμoοσμένης Φυσιολογίας, για την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε με την ανάθεση της παρούσας εργασίας και την αφιέρωση πολύτιμου χρόνου ώστε να ολοκληρωθεί. Ευχαριστίες οφείλω στα μελή τις επιτροπής, στην Καθηγήτρια κ Σακελαρίου-Μακραντωνάκη και τον Επίκουρο καθηγητή κ. Πετρόπουλο Σ. για την καθοδήγηση και τις υποδείξεις για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την στήριξη και την κατανόηση τους τόσα χρόνια. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιαννούλη Κυριάκο διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργίας για την στήριξη του και την πολύτιμη βοήθεια του για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το switchgrass είναι ένα πολυετές C4, φωτοευαίσθητο αγρωστώδες φυτό εύκρατων ζωνών, με υψηλή προσαρμοστικότητα σε ευρύ γεωγραφικό πλάτος. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η κατανομή άνθρακα στο φυτό της καλλιέργειας του switchgrass "*Panicum virgratum* L.", σε συνθήκες μειωμένων εισροών. Συγκεκριμένα ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών ανάπτυξης (ύψος) της κατανομής του βάρους στα επίπεδα όργανα σε 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (στο στάδιο πριν την ανθοφορία και στο στάδιο της ωρίμανσης του σπόρου) κάτω από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα N-λιπάνσεως (0, 8, 16, 24 kg N ανά στρέμμα) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (ξηρικό και μειωμένη άρδευση 250 mm). Το παραπάνω πείραμα εκπονήθηκε στον Παλαμά Καρδίτσας που αποτελεί αντιπροσωπευτικό αγρό της δυτικής θεσσαλικής πεδιάδας με στόχο της εκτίμησης των οφελών στον θεσσαλικό κάμπο. Το πείραμα έλαβε χώρα την περίοδο 2011-2012. Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν των υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split-plot design) 4X2X4. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι η άρδευση. Το μέγιστο ξηρό βάρος παρατηρήθηκε το 2011 και ήταν 2,94 t/στρ. Η σύνθεση της βιομάζας πριν την ανθοφορία ήταν 27-30% φύλλα και 70-73% βλαστοί, ενώ κατά την περίοδο ωρίμανσης (συγκομιδή) ήταν 19-22% φύλλα, 68-71% βλαστοί και 10-12% ανθοταξία και για τις δυο χρονιές.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
Κατάλογος σχημάτων.....	6
Κατάλογος Πινάκων	6
1. Εισαγωγή	7
1.1 Βιομάζα.....	7
1.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης της φυτικής βιομάζας.....	8
1.1.2 Ενεργειακή γεωργία.....	9
1.1.3 Ενεργειακές Καλλιέργειες	9
1.2 Switchgrass.....	11
1.2.1 Περιγραφή.....	11
1.2.2 Ιστορία.....	11
1.2.3 Εξέλιξη	11
1.2.4 Switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια.....	12
1.2.5 Οικότυποι	12
1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	12
1.3.1 Ρίζα	12
1.3.2 Στελέχη.....	13
1.3.3 Ταξιανθία.....	13
1.3.4 Σταχύδιο.....	14
1.3.5 Άνθος	14
1.3.6 Καρπός	15
1.3.7 Φαινολογικά στάδια και περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης.....	16
1.4 Καλλιεργητικές τεχνικές	16
1.4.1 Έδαφος	16
1.4.2 Γονιμότητα εδάφους	16
1.4.3 Λίπανση	17
1.4.4 Απαιτήσεις σε νερό.....	17
1.4.5 Ζιζάνια.....	17
1.4.6 Εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass.....	18

1.4.7 Προετοιμασία σποροκλίνης	18
1.4.8 Σπορά	18
1.4.9 Συγκομιδή.....	19
1.4.10 Αποθήκευση.....	19
1.5 Χρήσεις	19
1.5.1 Ζωοτροφή	19
1.5.2 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού	20
1.5.3 Παραγωγή βιοαιθανόλης	20
1.5.4 Καύση	20
1.5.5 Παραγωγή πρωτεϊνών	21
1.5.6 Έλεγχος διάβρωσης	21
1.5.7 Χαρτοπολτός.....	21
1.6 Σκοπός της εργασίας.....	21
2. Υλικά και μέθοδοι	22
2.1 Τοποθεσία πειραματικών αγρών.	22
2.1.1 Πειραματικό σχέδιο.....	22
2.2 Εργασίες στον αγρό	23
2.2.1 Λίπανση	23
2.2.2 Άρδευση.....	23
2.2.3 Έλεγχος ζιζανίων.....	23
2.2.4 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών.....	23
2.3 Μετρήσεις.....	24
2.3.1 Μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης	24
2.3.2 Φαινολογία	25
2.3.3 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	25
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση	26
3.1 Κλιματολογικές συνθήκες	26
3.2 Αύξηση ανάπτυξη.....	26
3.2.1 Ύψος φυτού	27
3.2.2 Ξηρό Βάρος.....	28
3.2.3 Μεταβολή βάρους των φυτικών οργάνων	29
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	33
Βιβλιογραφία	34

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1. Πειραματικό σχέδιο για την μελέτη τις (I1 και I2 τα δυο επίπεδα άρδευσης και N1,N2,N3,N4 τα 4 επίπεδα λίπανσης). Σελ 22.

Σχήμα 3.1. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ημερο τα έτη 2011 και 2012. Σελ 26.

Σχήμα 3.2. Μεταβολή των θερμοημερών (Growing Degree Days – GDD) για την περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των ετών 2011 και 2012. Σημείο έναρξης ανθοφορίας: A1 το 2011, A2 το 2012. Ανθοφορία: η πρώτη οριζόντια γραμμή(-----) Ωρίμανση: η δεύτερη οριζόντια γραμμή(.....).

Σχήμα 3.3. Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1:αριστερα, I2:δεξια) και των 4 επιπέδων αζωτούχου λίπανσης (N1: 1^η, N2: 2^η, N3: 3^η, N4: 4^η). Σελ 30.

Σχήμα 3.4. Μέση μεταβολή ξηρής βιομάζας των φυτικών οργάνων για την περιοχή . Σελ 31.

Σχήμα 3.5. Διαχωρισμός του switchgrass (φύλλα, βλαστοί, ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα αζωτούχου λίπανσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια ανάπτυξης του φυτού (πριν την ανθοφορία και την τελική συγκομιδή) για τις χρονιές 2011 και 2012. Σελ 32.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1. Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης για το switchgrass τις χρονιές 2011-2012. Σελ 23.

Πίνακας 2.2. Ημερομηνίες δειγματοληψίας (JD= Ιουλιανές μέρες, GDD= βαθμό-ημέρες, DAE = ημέρες μετά το φύτευμα). Σελ 24.

Πίνακας 3.1. Ύψος του φυτού σε συνάρτηση την άρδευση και λίπανση για τις δυο χρονιές του πειράματος 2011 και 2012 (LSD: λιγότερο σημαντική διαφορά σε $P < 0,05$, ns: όχι σημαντική). Σελ 27.

Πίνακας 3.2. Ξηρό βάρος του φυτού σε συνάρτηση την άρδευση και λίπανση για τις χρονιές 2011 και 2012 (LSD: λιγότερο σημαντική διαφορά σε $P < 0,05$, ns : όχι σημαντική). Σελ 28.

1. Εισαγωγή

1.1 Βιομάζα

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρόκειται για μία πηγή ενέργειας που ανανεώνεται συνεχώς λόγω της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτικών οργανισμών. Τα τελευταία χρόνια η συνεχής αύξηση της τιμής του πετρελαίου έχει οδηγήσει την παράγωγή βιοκαυσίμων για την μείωση εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Η βιομάζα καλύπτει περίπου το 4% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στις ΗΠΑ και το 45% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Στοιμενίδης *et al.*, 2005).

Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από: τις φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά. Επίσης από τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιός, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά., από τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά., καθώς και το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών. Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Στη βιομάζα, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα της βιομάζας είναι τα καύσιμα, κυριότερα των οποίων είναι η αιθανόλη και το βιοντήζελ, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναμεμειγμένα με συμβατικά καύσιμα ή να αντικαταστήσουν πλήρως τη βενζίνη και το ντίζελ αντίστοιχα. Η χρήση των βιοκαυσίμων μειώνει την εξάρτηση της παγκόσμιας οικονομίας από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ ενισχύει σημαντικά την αγροτική οικονομία.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε

περιορισμένη, όμως κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρήνας, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευνοούμενες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας (Βασιλακάκης Μ., 2012).

1.1.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης της φυτικής βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Ο περιορισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση της παράγεται CO_2 , κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου.

2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO_2) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της "όξινης βροχής". Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.

3. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.

4. Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές, συμβάλλει δηλαδή η βιομάζα στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας (Στοιμένιδης *et al.*, 2005).

Τα μειονεκτήματα από τη χρήση της βιομάζας, ως επί το πλείστον, αφορούν δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

1. Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

2. Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.

3. Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

4. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της (Στοιμένιδης, *et al* 2005).

1.1.2 Ενεργειακή γεωργία

Με την ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών, πέρα από το περιβαλλοντικό όφελος, επιτυγχάνονται τα έξης (ΚΑΠΕ 2005):

1. Προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων: Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις για τους αγρότες.

2. Ενδυνάμωση του γεωργικού χώρου: Με την ανάπτυξη καλλιεργειών για ενέργεια, θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών, βελτίωση καλλιεργητικών μεθόδων και εξοπλισμού, που θα υποστηρίξουν την παραγωγή και αποθήκευση των νέων φυτών. Αυτό θα δώσει ώθηση στη φθίνουσα γεωργική οικονομία και θα οδηγήσει στην ανάπτυξη της εγχώριας γεωργικής βιομηχανίας.

3. Αύξηση του αγροτικού εισοδήματος: Η διείσδυση των ενεργειακών καλλιεργειών στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες και να ενισχύσει τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων των γεωργών.

4. Μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων και αναζωογόνηση των λιγότερο ανεπτυγμένων γεωργικών οικονομιών: Η παραγωγή και εκμετάλλευση των ενεργειακών καλλιεργειών θα συντελεστεί στις αγροτικές περιοχές. Η εισροή, επομένως νέων εισοδημάτων θα βελτιώσει τη ζωή των τοπικών κοινωνιών και θα στηρίξει την ανάπτυξη σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές της χώρας.

5. Εξασφάλιση αιεφόρου περιφερειακής ανάπτυξης: Η δημιουργία αγοράς για παραγωγή βίο καυσίμων, θερμότητας και ηλεκτρισμού στην περιφέρεια, θα συμβάλει στην παραμονή του πληθυσμού στις αγροτικές περιοχές, με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την εξασφάλιση πρόσθετων εισοδημάτων στην τοπική κοινωνία.

6. Ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο: Η χρήση καλλιεργειών για ενεργειακούς σκοπούς οδηγεί στην ανάπτυξη στρατηγικών παραγωγής.

1.1.3 Ενεργειακές Καλλιέργειες

Με τον όρο ενεργειακές καλλιέργειες μιλάμε για καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων και το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας, είτε παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι η σταθερή παραγωγή τους μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμη προμήθεια πρώτης ύλης, με ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων και ενέργειας. Ειδικά οι νέες καλλιέργειες παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις ανά εδαφική μονάδα, σε σχέση με τις συμβατικές για την παραγωγή ενέργειας, θεωρούνται και αυτές ενεργειακές καλλιέργειες (Χρήστου *et al.*, 2006).

Σημαντικότερες ενεργειακές καλλιέργειες που έχουν μελετηθεί και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και είναι οι εξής:

A. Ετήσιες

1. Αιθίοπια (*Brassica carinata* L. Braun)
2. Ηλίανθος (*Helianthus annuus* L.)
3. Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο (*Sorghum bicolor* L.)
4. Κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.)
5. Ελαιοκράμβη (*Brassica napus*, *Brassica carinata*)
6. Σιτάρι (*Triticum aestivum* L.)
7. Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris* L.)
8. Αραβόσιτος (*Zea mays* L.)
9. Κριθάρι (*Hordeum sativum* Nulgare)

B. Πολυετής:

I. Γεωργικές:

1. Καλάμι (*Arundo donax* L.)
2. Μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU)
3. Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.)
4. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)

II. Δασικές:

1. Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *Eucalyptus globules* Labill.).
2. Ψεδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.).

Για να είναι ένα φυτό αποδοτικό ως ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος, πρέπει να έχει χαμηλές ενεργειακές εισροές και υψηλές καθαρές ενεργειακές εκροές. Σαν χαρακτηριστικά μιας ιδανικής ενεργειακής καλλιέργειας συνοψίζονται στα εξής:

1. Υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού, θρεπτικών και ηλιακής Ακτινοβολίας,
2. Υψηλό δυναμικό παραγωγής (μέγιστη παραγωγή ξηράς ουσίας, kg ha⁻¹) και υψηλή ενεργειακή αξία (MJ/kg),
3. Χαμηλές ενεργειακές εισροές κατά την παραγωγική διαδικασία,
4. Χαμηλό κόστος παραγωγής,
5. Χαμηλές θρεπτικές απαιτήσεις και εισροές αγροχημικών,
6. Αντοχή στην έλλειψη νερού,
7. Ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες,
8. Χαμηλή περιεκτικότητα υγρασίας κατά τη συγκομιδή,
9. Ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.2 Switchgrass

Επιστημονική κατάταξη

Βασίλειο: *Plantae*

Διαίρεση: *Magnoliophyta*

Κλάση: *Liliopsida*

Τάξη: *Cyperales*

Οικογένεια: *Poaceae*

Γένος: *Panicum*

Είδος : *Panicum virgatum* L.

1.2.1 Περιγραφή

Panicum virgatum L., κοινώς γνωστό ως switchgrass, είναι πολυετές φυτό, εύκρατων ζωνών εγγενή στη Βόρεια Αμερική, όπου εμφανίζεται με φυσικό τρόπο από το 55 ° Β γεωγραφικό πλάτος στον Καναδά νότια προς τις Ηνωμένες Πολιτείες και το Μεξικό (Moser *et al.*, 1995). Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του εδάφους, την παραγωγή ζωοτροφών, και πιο πρόσφατα ως καλλιέργεια βιομάζας για την αιθανόλη και βουτανόλη και την παραγωγή θερμότητας. Είναι ένα ανθεκτικό, βαθιά ριζωμένο, πολυετή που ξεκινά την ανάπτυξη στα τέλη της άνοιξης. Μπορεί να αυξηθεί έως και 2,7 μέτρα ύψος, τα φύλλα έχουν μήκος 30-90 cm, με μια προεξέχουσα κεντρική νεύρωση. Switchgrass χρησιμοποιεί C4 δέσμευση του άνθρακα, δίνοντας ένα πλεονέκτημα σε συνθήκες ξηρασίας και υψηλών θερμοκρασιών. Είναι λουλούδια και έχουν ένα καλά αναπτυγμένο φόβη, συχνά μήκους μέχρι 60 cm, και φέρει μια καλή σοδειά των σπόρων. Οι σπόροι είναι μήκους 3-6 mm και πλάτους έως 1,5 mm, και αναπτύσσονται από ένα μόνο άνθος το σταχύδιο. Όταν ωριμάσει, οι σπόροι παίρνουν μερικές φορές σε ροζ ή θαμπό-μωβ απόχρωση και να ροδίσουν με το φύλλωμα των φυτών το φθινόπωρο. Το switchgrass μπορεί να επιβιώσει για δέκα χρόνια ή και περισσότερο. Σε αντίθεση με το καλαμπόκι, switchgrass μπορεί να αυξηθεί σε περιθωριακά εδάφη και απαιτεί σχετικά μέτρια επίπεδα των χημικών λιπασμάτων.

1.2.2 Ιστορία

Εμφανίστηκε στην βόρεια Αμερική και καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της και κυρίως βρίσκεται στα λιβάδια των Κεντρικής και ανατολικής. Αρχικά το θέριζαν οι ιθαγενείς σαν χόρτο μαζί με άλλα είδη (*orghastrum nutans*, *tripsacum dactyloides*, *andropogon panicum sorghastum*). Στη συνέχεια άρχισε να εξαπλώνεται δυτικά σε όλη την ήπειρο όπου και στην συνέχεια από άποικους μεταφέρθηκε και στην Ευρώπη. Η καλλιέργεια του switchgrass άρχισε να αναπτύσσεται στην Ευρώπη μετά το 1973.

1.2.3 Εξέλιξη

Το γένος *panicum* έχει περισσότερα από 450 ετερογενή είδη. Για το λόγο αυτό υποδιαιρούν το γένος *panicum* σε 6 η περισσότερα υπογένη.

1.2.4 Switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια

Το switchgrass θεωρείται ως μία καλλιέργεια βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας και για την παραγωγή φυτικών ινών, όπως είναι:

1. Η υψηλή καθαρή παραγωγή ενέργειας ανά εκτάριο,
2. Το χαμηλό κόστος παραγωγής,
3. Οι χαμηλές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά ,
4. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα,
5. Η υψηλή αποδοτικότητα της χρήσης του νερού,
6. Το μεγάλο εύρος της γεωγραφικής προσαρμογής ,
7. Η ευκολία της εγκατάστασης από σπόρους,
8. Η προσαρμογή με τα εδάφη και οι δυνατότητες για την αποθήκευση του άνθρακα στο έδαφος.

1.2.5 Οικότυποι

Καθόλα τη γεωγραφική ποικιλομορφία που καλύπτει το switchgrass υπάρχουν δύο γενότυποι-οικότυποι: το lowland που είναι στις πεδινές περιοχές, δηλαδή σε υγρά και νότια γεωγραφικά πλάτη και το upland που είναι σε ορεινές περιοχές, δηλαδή σε ξηρά και υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Η επιλογή των οικότυπων αφορά το γεωγραφικό πλάτος της προέλευσης των ποικιλιών (π.χ., χειμώνα-ανθεκτικότητα), αυτές οι ποικιλίες με χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος συνήθως παράγουν υψηλότερες αποδόσεις από ό, τι οι ορεινές ποικιλίες οι οποίες δεν έχουν ανθεκτικότητα στο κρύο του χειμώνα. Η απόδοση της βιομάζας σε γεωγραφικές περιοχές εξαρτάται από την ποικιλία και τον οικότυπο όπου φυτεύεται, από την διαχείριση των καλλιεργειών και από τον τύπο του εδάφους και από το κλίμα (Parrish and Fike, 2005).

1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

1.3.1 Ρίζα

Είναι ένα πολυετές, αγρωστώδες φυτό, με ριζικό σύστημα που μπορεί να ξεπεράσει τα 3 m βάθους. Υπό κατάλληλες συνθήκες μπορεί να φτάσει τα 2,5 m και ύψος 3m. Η ρίζα διακρίνεται στην πρωτογενή εμβρυακή ρίζα, στις δευτερογενείς που εμφανίζονται από το μεσοκοτύλιο και στις μόνιμες που εμφανίζονται από το λαιμό (Silver and Tanya, 2000; Sector and Bob, 2006). Σχηματίζει λεπτά ριζώματα και από τους οφθαλμούς τους εκπτύσσονται, νωρίς την άνοιξη, αρκετά λεπτά στελέχη διαμέτρου 10 mm (Alexoroulou, 2005).

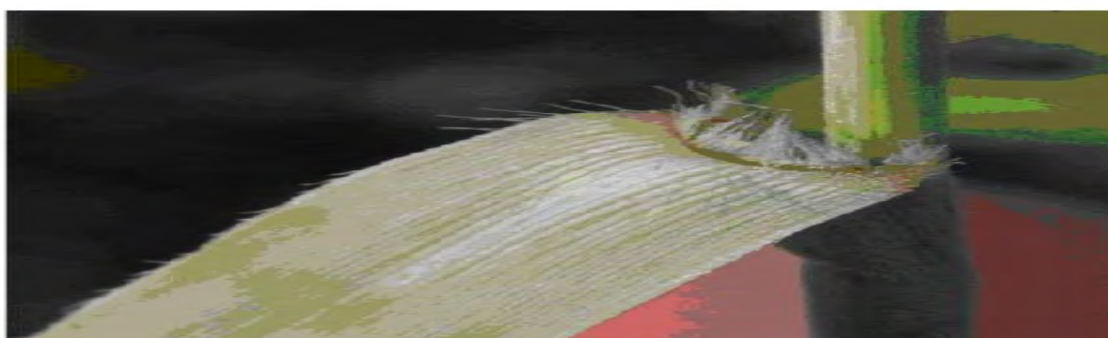


Εικόνα 1. Ριζικό σύστημα του φυτού switchgrass. Πηγή: <https://stopsuckingatlife.wordpress.com/tag/native-grass-roots/>.

1.3.2 Στελέχη

Τα στελέχη του switchgrass είναι ανοιχτού έως σκούρου πράσινου χρώματος, χωρίς τρίχες και φτάνουν σε ύψος περίπου τα 3 m. Αποτελούνται από συμπαγείς κόμβους και μεσογονάτια, τα οποία στα πρώτα στάδια ανάπτυξης είναι μικρά και οι διαδοχικοί κολεοί των φύλλων σχηματίζουν ένα ψευδοβλαστό. Τα νέα στελέχη σχηματίζονται από οφθαλμούς που βρίσκονται στους κόμβους του στελέχους, είναι παρόμοια με το αρχικό και ονομάζονται αδέρφια.

Το έλασμα του φύλλου φτάνει τα 15 mm σε πλάτος και τα 50 cm σε μήκος, είναι συνήθως πράσινου χρώματος χωρίς τρίχες, με μεγάλο εύρος διασποράς. Ο κολεός του φύλλου είναι του ίδιου χρώματος με το έλασμα, ανοιχτός στον κόμβο. Στο σημείο συνένωσης κολεού και ελάσματος υπάρχει μια μεμβρανώδης εκβλάστηση που καλείται γλωσσίδιο. Στη βάση του γλωσσιδίου και από τις δύο πλευρές, υπάρχουν μεμβρανώδεις προεκτάσεις που καλούνται ωτίδια (Silver and Tanya, 2000).

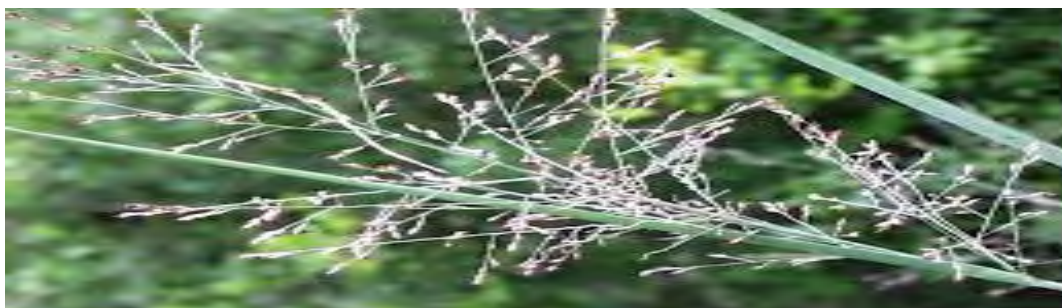


Εικόνα 2. Ωτίδιο του φυτού. Πηγή: <http://www.backyardnature.net/n/h/switch-g.htm>.

1.3.3 Ταξιανθία

Η ταξιανθία είναι φόβη μήκους 15 έως 45 cm και πλάτους 10 έως 25 cm και αποτελείται από σταχύδια. Η ράχη της φόβης φέρει ομάδες διακλαδώσεων, πολύπλευρης διάταξης, που εκφύονται από ξεχωριστό κόμβο της ράχης και

το μήκος τους μειώνεται προοδευτικά προς την κορυφή. Από κάθε διακλάδωση ξεκινούν διακλαδώσεις ανώτερης τάξης οι οποίες καταλήγουν σε ένα μικρό σταχύδιο, μήκους 4-5 mm, ελλειψοειδούς ή ωοειδούς σχήματος (Secter and Bob, 2006).



Εικόνα 3. Ταξιανθία του switchgrass. Πηγή:

http://www.bio.utexas.edu/courses/bio406d/images/pics/poa/panicum_virgatum.htm.

1.3.4 Σταχύδιο

Τα σταχύδια έχουν αρχικά κοκκινωπό (πορφυρό) χρώμα το οποίο στην συνέχεια γίνεται σκούρο μωβ. Κάθε σταχύδιο περιβάλλεται από ζεύγος βρακτείων φύλλων που ονομάζονται λέπτυρα και αποτελείται από ένα ή περισσότερα άνθη που βρίσκονται τοποθετημένα εναλλάξ πάνω σε ένα μικρό άξονα που ονομάζεται ραχίδιο. Τα λέπτυρα έχουν σχήμα λεμβοειδές ή επίμηκες και καταλήγουν σε μια αιχμή που ονομάζεται ακίδα. Κάτω από την ακίδα διακρίνεται μια αναδίπλωση τον κεντρικού νεύρου του λεπτύρου σε όλο το μήκος του, που ονομάζεται τρόπιδα (Secter and Bob, 2006).



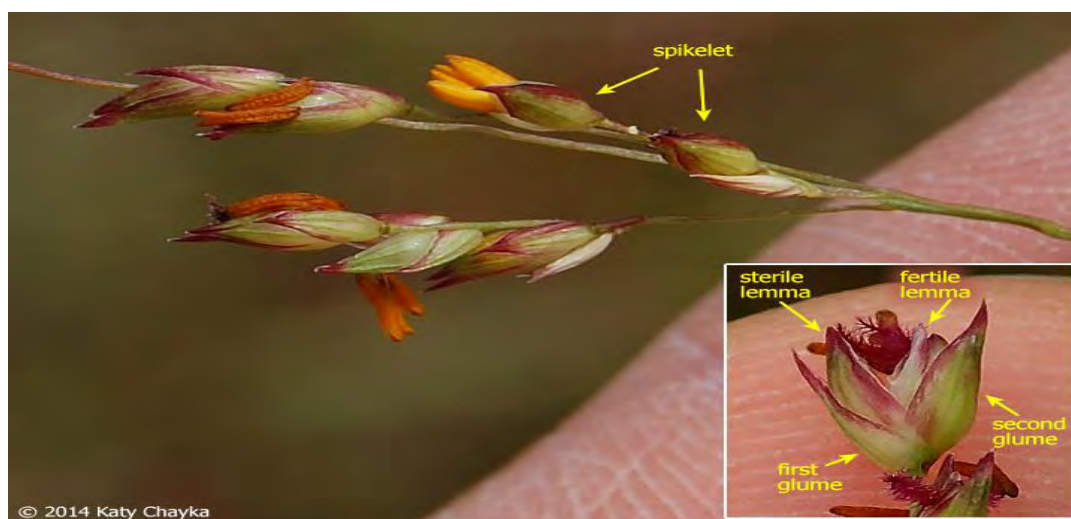
Εικόνα 4. Τα σταχύδια του switchgrass. Πηγή:

<https://hiveminer.com/Tags/poaceae,switchgrass/Interesting>

1.3.5 Άνθος

Κάθε άνθος περιβάλλεται από δύο λεπτυρίδια που ονομάζονται χιτώνας και λεπίδα και αποτελούνται από τρεις στήμονες, μονόχωρη ωοθήκη, βραχύ στύλο και δισχιδές στίγμα. Ο χιτώνας και η λεπίδα παρέχουν μια προστατευτική κάλυψη για το αναπτυσσόμενο άνθος καθώς και για το σπόρο,

μετά την ωρίμανση. Σε πολλά είδη και ποικιλίες ο χιτώνας προεκτείνεται στο άκρο του και σχηματίζει μια αιχμηρή προεξοχή που ονομάζεται άγανο. Η περίοδος ανθοφορίας εμφανίζεται κατά τα μέσα τον καλοκαιριού και η επικονίαση γίνεται με τον άνεμο (Secter and Bob, 2006).



Εικόνα 5. Το άνθος του switchgrass. Πηγή:

<https://www.minnesotawildflowers.info/grass-sedge-rush/switchgrass>.

1.3.6 Καρπός

Ο καρπός είναι καρύοψη μήκους 2-3 mm, κίτρινου έως καστανού χρώματος, επιμήκης, ωοειδούς σχήματος και κάπως πεπλατυσμένος στη μία πλευρά. Έχει διαφορετικό σχήμα, μέγεθος και χρώμα ανάλογα με την ποικιλία (Secter and Bob, 2006).



Εικόνα 6. Ο καρπός του switchgrass. Πηγή:

<http://farmenergymedia.extension.org/tags/switchgrass-seed>.

1.3.7 Φαινολογικά στάδια και περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης

Το σύστημα που χρησιμοποιείται για την μελέτη των φαινοτυπικών σταδίων ανάπτυξης του φυτού. Περιλαμβάνει τα εξής 5 στάδια:

1. Φύτρωμα,
2. Βλαστική περίοδος/ανάπτυξη φύλλου,
3. Επιμήκυνση στελέχους,
4. Αναπαραγωγή/ανθοφορία,
5. Αναπαραγωγή σπόρων(ανάπτυξη-ωρίμανση).

Η θερμοκρασία είναι ένας περιοριστικός παράγοντας της βλαστικής ανάπτυξης του switchgrass. Η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του φυτού είναι 10°C και οι απαιτούμενες βαθμό-ημέρες για την ολοκλήρωση του στελέχους περίπου 1000. Ως φυτό μικρής ημέρας τα στάδια ανάπτυξης επηρεάζονται από το μήκος της ημέρας και λιγότερο από την θερμοκρασία ή την υγρασία.

1.4 Καλλιεργητικές τεχνικές

1.4.1 Έδαφος

Το switchgrass προσαρμόζεται και αναπτύσσεται σε ευρύ φάσμα εδαφών. Ανέχεται σε μεγάλο βαθμό την ξηρασία και την αλατότητα και αποδίδει καλά σε αβαθή, βραχώδη εδάφη. Προτιμά τα λιγότερο βαριά, καλά αποστραγγισμένα, αμμώδη και γόνιμα εδάφη. Τα γόνιμα και αμμώδη εδάφη επιτρέπουν στις ρίζες να αναπτυχθούν πιο εύκολα απ' ό,τι τα πιο βαριά και αργιλώδη εδάφη. Ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί, η επιτυχής εγκατάσταση της καλλιέργειας απαιτεί η σπορά να πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία εδάφους έχει αυξηθεί και υπάρχει διαθέσιμη υγρασία. Τα αμμώδη εδάφη έχουν την τάση να χάνουν υγρασία πιο γρήγορα, περιορίζοντας ενδεχομένως, την επιτυχία της εγκατάστασης και τις αποδόσεις σε βιομάζα. Το pH των εδαφών για τη βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 7,6 (Guretzky *et al.*, 2009; Lawrence *et al.*, 2006; Wolf and Fiske *et al.*, 2009).

1.4.2 Γονιμότητα εδάφους

Οι απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία εξαρτώνται από το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης τις κλιματικές συνθήκες την παραγωγικότητα του εδάφους. Κύριος περιοριστικός παράγοντας της θρέψης θεωρείται το άζωτο (Thomason *et al.*, 2004).

1.4.3 Λίπανση

Οι απαιτήσεις σε λίπανση εξαρτώνται από την γονιμότητα του εδάφους κατά κύριο λόγο. Το switchgrass προσαρμόζεται σε εδάφη με χαμηλά επίπεδα γονιμότητας σε σχέση με άλλες καλλιέργειες. Είναι απαραίτητη η εδαφολογική ανάλυση πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Είναι σημαντικό να διατηρηθούν τα βέλτιστα επίπεδα φωσφόρου και καλίου στο έδαφος ($P > 10 \text{ ppm}$) και ($K > 90 \text{ ppm}$). Σε περίπτωση που δεν έχουμε τα επιθυμητά επίπεδα εφαρμόζουμε τις απαραίτητες ποσότητες πριν την σπορά στο έδαφος ποσότητα αζώτου από λιπάσματα πρέπει να είναι μέχρι $4,5 \text{ kg/στρ.}$ Η αζωτούχος λίπανση για την βέλτιστη εγκατάσταση της καλλιέργειας επιτρέπεται μετά το έτος εγκατάστασης της καλλιέργειας κατά την περίοδο της άνοιξης (Rinehart *et al.*, 2006; Lawrence, *et al.*, 2006).

1.4.4 Απαιτήσεις σε νερό

Το switchgrass μετά την εγκατάσταση του μπορεί να ανεχθεί ακραίες περιόδους ξηρασίας, η απόδοση του όμως σε βιομάζα θα είναι μειωμένη. Η άρδευση που πραγματοποιείται την άνοιξη, καθώς αρχίζει η ανάπτυξη του φυτού, αυξάνει περισσότερο την απόδοση σε βιομάζα, σε σχέση με την άρδευση που πραγματοποιείται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

Σε μη αρδευόμενες συνθήκες, το switchgrass αποδίδει καλά σε περιοχές με μέση ετήσια βροχόπτωση άνω των 400 mm . Όταν υπάρχει δυνατότητα άρδευσης επιτυγχάνεται καλύτερη εγκατάσταση της καλλιέργειας και μεγιστοποίηση των αποδόσεων σε βιομάζα. Όταν όμως πραγματοποιείται άρδευση κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, είναι σημαντικό να παρακολουθούνται οι πληθυσμοί των ζιζανίων, καθώς τα ποσοστά ανάπτυξής τους συχνά υπερβαίνουν αυτά του switchgrass (Guretzky *et al.*, 2009).

1.4.5 Ζιζάνια

Πρέπει να γίνεται έλεγχος των ζιζανίων κατά την περίοδο εγκατάστασης. Υπάρχουν δύο τρόποι, η μηχανική κατεργασία ή ζιζανιοκτονία. Επειδή ο σπόρος του switchgrass είναι μικρός, τα φυτά αναπτύσσονται αργά και είναι ευαίσθητα στον ανταγωνισμό των ζιζανίων. Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχει κανένα μετεφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο αποτελεσματικό για τον έλεγχο των ζιζανίων στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού (Χρήστου *et al.*, 2006).

Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για το πρώτο έτος της καλλιέργειας, για το δεύτερο έτος ο έλεγχος γίνεται λίγο δύσκολος και πιο οικονομικός. Το switchgrass επωφελείται με το κάψιμο των υπολλειμάτων της καλλιέργειας πριν την έναρξη της ανάπτυξης, την άνοιξη καίγοντας τους αγρούς μια φορά ανά 3-5 έτη. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο ανταγωνισμός των ζιζανίων και υποκινείται η αύξηση των κομμένων φυτών.

Ο καλύτερος έλεγχος των ζιζανίων έγινε με την χρήση του μεταφυτρωτικού ζιζανιοκτόνου nicosulfuran που εφαρμόστηκε με μειωμένες δόσεις σύμφωνα με έρευνα προφυτρωτικά και μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα σε συνδυασμό με άλλες καλλιεργητικές πρακτικές σε καλλιέργεια 1 έτους switchgrass.

Συστήνεται: 1) Εφαρμογή glyphosate (Round-up). 2) Κοπή ζιζανίων 2-3 φορές κατά την διάρκεια της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου, η κοπή είναι πιο αποτελεσματική για τα ετήσια ζιζάνια όταν γίνει στο στάδιο ωρίμανσης αλλά πριν δώσουν σπόρο, με αυτή την μέθοδο μειώνονται και τα πολυετή ζιζάνια (Alexoroulou *et al.*, 2008).

1.4.6 Εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass

Τα φυτά switchgrass πρέπει να αναπτύξουν δυο ή περισσότερα αδέρφια για να επιβιώσουν τον χειμώνα. Υπό κανονικές καιρικές συνθήκες το φυτό μπορεί να επιτύχει το 50% του πλήρους δυναμικού απόδοσης κατά την διάρκεια του έτους εγκατάστασης (Schmer *et al.*, 2006) .

1.4.7 Προετοιμασία σποροκλίνης

Η προετοιμασία του εδάφους περιλαμβάνει όργωμα και κατεργασία με σβάρνα. Το όργωμα επιτρέπει τον καλύτερο αερισμό του εδάφους και την ευκολότερη κίνηση του νερού. Η χρήση δισκοσβάρνας είναι απαραίτητη για τον θρυμματισμό και την ισοπέδωση του εδάφους. Η εγκατάσταση του φυτού μπορεί να γίνει και χωρίς να προηγηθεί όργωμα αν η επιφάνεια του εδάφους είναι απαλλαγμένη από ζιζάνια και υπολείμματα παλιότερων καλλιεργειών.

1.4.8 Σπορά

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται με σπόρους και στην Ελλάδα λαμβάνει χώρα το Μάιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10-15 °C. Η αναβλάστηση του φυτού γίνεται το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου. Οι νεαροί βλαστοί είναι ευαίσθητοι στους παγετούς αλλά το φυτό έχει την ικανότητα να αναβλαστάνει ακόμα και μετά από σημαντικές νεκρώσεις βλαστών λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Παράγει πολύ μικρούς σπόρους με βάρος 1000 σπόρων μεταξύ 0,7 έως 2,0 g αναλόγως της ποικιλίας. Στη συνέχεια επιτελείται μείωση της υγρασίας των φυτικών ιστών και μέχρι τον Ιανουάριο έχει κατέλθει στο 25%, περίπου. Επομένως κατάλληλη εποχή συγκομιδής είναι το χρονικό διάστημα από τέλη Νοεμβρίου ως και τον Ιανουάριο (Χρήστου, 2006). Η σπορά μπορεί να γίνει είτε γραμμικά είτε στα πεταχτά αρκεί η επιφάνεια του εδάφους να είναι ομαλή και χωρίς ζιζάνια. Η γραμμική σπορά γίνεται ή με σπαρτική σιτηρών ή με σπαρτική ακριβείας. Στη σπορά πρέπει να δώσουμε μεγάλη προσοχή στην ποιότητα του σπόρου, πρέπει να είναι πιστοποιημένος και με υψηλή λυτρωτική ικανότητα. Υπάρχουν 500-1000 σπόροι σε ένα gr. Το βάθος σποράς πρέπει να είναι 10 έως 15 mm (μικρό βάθος λόγω μικρού μεγέθους του σπόρου). Η θερμοκρασία πρέπει να είναι πάνω από 10°C. Η ποσότητα σπόρου πρέπει να

είναι από 0,75 έως 2 kg ανάλογα με την ποικιλία. Περίπου οι ποσότητες είναι 200-400 σπόροι ανά m².

1.4.9 Συγκομιδή

Η συγκομιδή του switchgrass μία φορά το χρόνο φαίνεται να είναι το πιο οικονομικό σύστημα συγκομιδής για την παραγωγή βιομάζας. Η εποχή της συγκομιδής θα πρέπει να είναι περίπου ένα μήνα μετά τον πρώτο φθινοπωρινό παγετό. Η συγκομιδή τον πρώτο και δεύτερο χρόνο γίνεται με απλή θεριστική μηχανή. Στα επόμενα χρόνια όμως όταν το φυτό φτάσει σε πλήρη ανάπτυξη θα πρέπει να χρησιμοποιούνται θεριστικές μηχανές τύπου δίσκου ή με αρθρωτές ταλαντευόμενες λεπίδες διότι είναι πιο αποτελεσματικές για τα φυτά (Lewandoski *et al.*, 1997; Boateng *et al.*, 2006).

1.4.10 Αποθήκευση

Μετά την συγκομιδή το switchgrass μπορεί να δεθεί σε μεγάλες ορθογώνιες ή στρογγυλές μπάλες ή να συγκομισθεί και να αποθηκευτεί σε μορφή ενσιρωμάτος (Vogel *et al.*, 2011). Βασικοί παράγοντες στην ελαχιστοποίηση της απώλειας αποθήκευσης από την μορφή μπάλας είναι η εξασφάλιση χαμηλού επιπέδου υγρασίας πριν την αποθήκευση και την προστασία από την υγρασία κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και χαμηλή σχετική υγρασία και την αποθήκευση μειώνουν τις απώλειες ξηρής ουσίας.

1.5 Χρήσεις

Το switchgrass μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ευρεία σειρά χρήσεων:

1. Ζωοτροφή,
2. Ενέργεια από βιομάζα κεχριού,
3. Παραγωγή βιοαιθανολης,
4. Καύση,
5. Παραγωγή πρωτεϊνών,
6. Έλεγχος διάβρωσης,
7. Χαρτοπολτός.

1.5.1 Ζωοτροφή

Χρησιμοποιείται για τη θρέψη των περισσότερων ζώων αλλά κυρίως των βοοειδών. Χρησιμοποιείται κυρίως για βοσκή αλλά και για παράγωγη σανού. Η ποιότητα του ως κτηνοτροφή είναι παρόμοια με των άλλων αγρωστωδών. Κατά την διάρκεια της άνοιξης το switchgrass έχει σχεδόν 15% περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες και πάνω από 70% περιεκτικότητα σε εύπεπτες ξηρές ουσίες. Κατάλληλη εποχή για συγκομιδή ή βόσκηση είναι η περίοδος όπου τα φυτά έχουν ύψος 20-30 εκατοστά και η περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά είναι μεγαλύτερη. Δεν είναι όμως κατάλληλο για ζώα όπως τα άλογα οι κατσίκες και τα πρόβατα γιατί περιέχει τοξικές ενώσεις που

ονομάζονται σαπωνίνες οι οποίες επηρεάζουν τα εσωτερικά όργανα και την ηπατική λειτουργία (Cowie *et al.*, 2006; Gyretzky *et al.*, 2009).

1.5.2 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενεργεία με θερμοχημική μετατροπή ή με ζύμωση των περιεχόμενων υδρογονανθράκων και παράγωγη μεθανίου και βιοαιθανόλης (Hamelinck *et al.*, 2005).

1.5.3 Παραγωγή βιοαιθανόλης

Το switchgrass είναι μία υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης (Va Hu *et al.*, 2010; Isci *et al.*, 2008), λόγω της υψηλής παραγωγικότητας του, της καταλληλότητας του για την ανάπτυξη σε περιθωριακά εδάφη. (McLaughlin *et al.*, 1999). Η βιοαιθανόλη είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για την βελτίωση της ποιότητας της, δηλαδή ως βελτιωτικό καυσίμου.

1.5.4 Καύση

Τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα των ενεργειακών καλλιεργειών για καύση ή αεριοποίηση είναι τα εξής: 1) το συνολικό περιεχόμενο ενεργείας 2) η περιεκτικότητα σε υγρασία 3) η χημική σύνθεση της στάχτης που παράγεται από την καύση. Το συνολικό περιεχόμενο ενεργείας καθορίζει την μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να παρόχθιε και τελικά την ποσότητα ηλεκτρικής ενεργείας που μπορεί να παραχθεί. Το περιεχόμενο ενεργείας για το switchgrass είναι από 16,4 MJ/kg έως 18,4 MJ/kg (Mc Laughlin *et al.*, 1996).

Παραγωγή βιοαερίου

Το βιοαέριο, ένα αέριο μίγμα με 65% μεθάνιο, το υπόλοιπο CO₂ και ίχνη άλλων αερίων, το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λήμματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφικών, βουστασίων, καθώς και βιομηχανικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων.

Παραγωγή πέλλετας

Το switchgrass δεδομένου ότι χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την ξήρανση των φυτών σε σύγκριση με το ξύλο είναι μια καλή πρώτη ύλη για παραγωγή πελλέτας. Οι ιδιότητες της πελλέτας έχει βρεθεί ότι έχει πυκνότητα μάζας ίση με 445 kg/m³ και θερμογόνο δύναμη 19,2 MJ/kg και στάχτη 4,5% (Mani *et al.*, 2006).

1.5.5 Παραγωγή πρωτεϊνών

Το συμπυκνωμένο φύλλο πρωτεΐνης (LPC) κερδίζει περισσότερη προσοχή λόγω του αυξημένου κόστους των τροφίμων και των ζωοτροφών. Η LPC είναι η πρωτεΐνη από ποώδη βιομάζα όπως χλόες ή μηδική, από την οποία έχουν αφαιρεθεί οι υδατάνθρακες του κυτταρικού τοιχώματος και γενικότερα αποτελεί κατά 50-80% κατά βάρος πρωτεΐνη. Η καλλιέργεια του switchgrass μελετήθηκε ως καλλιέργεια ζωοτροφής και η διαθέσιμη πρωτεΐνη ήταν άνω του 12% του συνολικού βάρους του φυτού όταν η συγκομιδή γινόταν αρχές καλοκαιριού (Lee *et al.*, 2007).

1.5.6 Έλεγχος διάβρωσης

Το switchgrass αποτελεί μια ελπιδοφόρα καλλιέργεια για την προστασία του εδάφους γιατί έχει βαθύ ινώδες ριζικό σύστημα σχεδόν ίσο με το ύψος του υπέργειου τμήματος και σε συνδυασμό με την ανεπτυγμένη υπέργεια βλάστηση μπορεί να προστατέψει επικλινή εδάφη από την αρνητική επίδραση βροχής. Το ριζικό σύστημα βοηθά την αύξηση της γονιμότητας της παραγωγικότητας και της διαπερατότητας των εδαφών σε εμπλουτίζοντας το έδαφος σε οργανική ουσία (Carter *et al.*, 2011).

1.5.7 Χαρτοπολτός

Αυξητικές τάσεις παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια η παραγωγή χαρτιού και χαρτοπολτού από την χρησιμοποίηση ινών που δεν προέρχονται από το ξύλο. Το switchgrass είναι μια εναλλακτική πηγή ινών για την παραγωγή χαρτιού γιατί ο χαρτοπολτός του είναι πλούσιος σε περιεκτικότητα του σε ίνες και κατάλληλος για την παραγωγή σκληρών χαρτιών και χαρτονιών. Σημαντικό επίσης είναι ότι η μηχανική πολτοποίηση του φυτού καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την μηχανική πολτοποίηση του ξύλου (Girouard *et al.*, 2000).

1.6 Σκοπός της εργασίας

Στόχος του πειράματος είναι η διερεύνηση της κατανομής άνθρακα στο φυτό της καλλιέργειας του switchgrass "*Panicum virgatum* L.", σε συνθήκες μειωμένων εισροών. Συγκεκριμένα ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών ανάπτυξης (ύψος) της κατανομής του βάρους στα φυτικά όργανα σε 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (στο στάδιο πριν την ανθοφορία και στο στάδιο της ωρίμανσης του σπόρου) κάτω από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα N-λιπάνσεως (0, 8, 16, 24 kg N ανά στρέμμα) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (ξερικό και μειωμένη άρδευση 250 mm). Το παραπάνω πείραμα εκπονήθηκε στον Παλαμά Καρδίτσας που αποτελεί αντιπροσωπευτικό αγρό της δυτικής θεσσαλικής πεδιάδας με στόχο την εκτίμησης των οφελών στον θεσσαλικό κάμπο.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Τοποθεσία πειραματικών αγρών.

Τα πειράματα έγιναν την τρίτη και την τέταρτη χρονιά μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας (2011, 2012) στον Παλαμά Καρδίτσας.

2.1.1 Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο ήταν παραγοντικό 2x4 (split-plot), με 2 παράγοντες και 4 επαναλήψεις (blocks). Οι παράγοντες ήταν:

A) Δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης
Επίπεδο I1: 0 mm άρδευσης (μη αρδευόμενο)

Επίπεδο I2: 250 mm άρδευσης (αρδευόμενο)

B) Αζωτούχος λίπανση (N)
Επίπεδο N1: 0 μονάδες αζώτου

Επίπεδο N2: 8 μονάδες αζώτου

Επίπεδο N3: 16 μονάδες αζώτου

Επίπεδο N4: 24 μονάδες αζώτου

Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις 200 m x 3,2 m (εμβαδόν 640 m²) και αποτελείτο από 8 πειραματικά υπό-τεμάχια εμβαδού 25 m x 3,2 m = 80 m². Το σύνολο της έκτασης του πειραματικού αγρού ήταν 15 x 200 = 3000 m² (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων). Όπως φαίνεται στο παρακάτω πειραματικό σχέδιο.

I1N1	I1N2	I1N3	I1N4
I1N2	I1N1	I1N4	I1N3
I1N3	I1N4	I1N1	I1N2
I1N4	I1N3	I1N2	I1N1
I2N4	I2N3	I2N2	I2N1
I2N3	I2N4	I2N1	I2N2
I2N2	I2N1	I2N4	I2N3
I2N1	I2N2	I2N3	I2N4

Σχήμα 2.1. Πειραματικό σχέδιο για την μελέτη τις καλλιέργειας στην περιοχή του Παλαμά (I1 και I2 τα δυο επίπεδα άρδευσης και N1, N2, N3, N4 τα 4 επίπεδα λίπανσης).

2.2 Εργασίες στον αγρό

2.2.1 Λίπανση

Η λίπανση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο, στο οποίο προβλέπονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης αζώτου ($N_1=0$, $N_2=8$, $N_3=16$ και $N_4=24$ μονάδες N). Για τη λίπανση των υποτεμαχίων χρησιμοποιήθηκε ουρία (46-0-0) και τις δυο χρονιές. Η λίπανση για την τρίτη χρονία εγκατάστασης του φυτού στον Παλαμά πραγματοποιήθηκε στις 11/6/2011 και για την τέταρτη στις 3/6/2012. Οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε υποτεμάχιο ήταν 0, 1,391, 2,782, 4,172 gr για 0, 8, 16, 24 από το λίπασμα νιτρικής αμμωνίας (46-0-0).

2.2.2 Άρδευση

Για την διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 αρδεύσεις στο αρδευόμενο τεμάχιο I2. Έτσι τα φυτά στο τεμάχιο I1 είχαν στη διάθεση τους το νερό των βροχοπτώσεων και για το αρδευόμενο τεμάχιο επιπλέον άρδευση ίση με I2 250mm.

Πινάκας 2.1. Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης για το switchgrass στην περιοχή του Παλαμά για την περίοδο 2011-2012.

2011	mm	2012	mm
4/7	50	8/7	50
14/7	50	16/7	50
25/7	50	26/7	50
4/8	50	9/8	50
14/8	50	22/8	50

2.2.3 Έλεγχος ζιζανίων

Η ζιζανιοκτονία που πραγματοποιήθηκε ήταν μηχανική επειδή η καλλιέργεια βρισκόταν στο τρίτο έτος της εγκατάστασης. Πραγματοποιήθηκε με σκαλιστήρι χειρός μόνο ανάμεσα στους διαδρόμους.

2.2.4 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Δεν υπήρξε καμία σοβαρή προσβολή κατά την διάρκεια του πειράματος από ασθένειες ή εχθρούς. Όμως κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η ύπαρξη μεγάλης βιοποικιλότητας στην καλλιέργεια όπως βατράχια, αράχνες, διάφορα είδη πουλιών κ.α.

2.3 Μετρήσεις

2.3.1 Μετρήσεις αύξησης και ανάπτυξης

Σε κάθε υποτεμάχιο πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες των φυτών από τα τέλη Μαΐου μέχρι και τις αρχές Οκτωβρίου ανά 18-25 ημέρες. Σε κάθε κοπή επιλεγόταν τυχαία μέσα στο κάθε πειραματικό υποτεμάχιο πλαίσιο 1m x 1m και κοβόντουσαν όλα τα φυτά μέσα σε αυτό. Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υποτεμαχίου για την αποφυγή της επίδρασης των περιθωρίων.

Μετά την κοπή των φυτών, μετρίοταν το ύψος και το βάρος ολόκληρου του δείγματος και στη συνέχεια επιλέγαμε 20 φυτά από κάθε πειραματικό τεμάχιο (υποτεμάχιο) που τοποθετούνταν μέσα σε πλαστική σακούλα πάνω στην οποία αναγραφόταν ο αριθμός του τεμαχίου από το οποίο λήφθηκε το δείγμα. Μετά από κάθε κοπή τα επιλεγμένα φυτά μεταφέρονταν στο Εργαστήριο Γεωργίας όπου με τη χρήση ηλεκτρονικού ζυγού μετρίοταν το χλωρό βάρος του υποδείγματος το ύψος, και έπειτα γινόταν διαχωρισμός του βλαστού, των φύλλων (χλωρά και ξερά) και των ταξιανθιών (μετά την έκπτυξη). Κατόπιν τα επιμέρους μέρη των φυτών και εφόσον είχε πραγματοποιηθεί η μέτρηση του χλωρού τους βάρους, τοποθετούνταν μέσα σε χάρτινες σακούλες για ξήρανση μέσα σε αεροξηραντήριο σε θερμοκρασία 65°C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Επισημαίνεται ότι τα φυτά είχαν αναπτύξει ανθικό στέλεχος από την 4η κοπή και έπειτα. Μετά την ξήρανση (περί τις 6-7 ημέρες), μετρίοταν το ξηρό τους βάρος με τη χρήση ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας.

Πίνακας 2.2. Ημερομηνίες δειγματοληψίας (JD=Ιουλιανές μέρες, GDD=βαθμό-ημέρες, DAE=ημέρες μετά το φύτευμα).

ΈΤΟΣ 2011						
DATE	11/6	27/6	11/7	25/7	9/8	29/9
JD	162	178	192	206	221	272
GDD	557	804	1036	1301	1556	2326
DAE	79	95	109	123	138	189
ΈΤΟΣ 2012						
DATE	5/7	24/7	21/8	8/9	7/10	
JD	186	205	233	251	280	
GDD	1482	1876	2443	2840	3295	
DAE	99	118	146	164	193	

2.3.2 Φαινολογία

Σε κάθε περιοχή και κάθε έτος καταγράφηκαν:

1. Αριθμός ημερών έως την τελική δειγματοληψία,
2. Αριθμός ημερών έως την έναρξη της άνθισης,
3. Αριθμός ημερών για κάθε ημερομηνία κοπής των φυτών.

Για να υπολογίσουμε τον ρυθμό φυσιολογικής ωρίμανσης μια καλλιέργειας χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των προστιθέμενων θερμομονάδων (Accumulated Heat Units, A.H.U) γιατί είναι καλύτερη από την ημερολογιακή μέθοδο (Ritchie et al., 1991).

Σε αυτή την μέθοδο οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτευμα έως κάποιο δεδομένο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας, υπολογίζονται με την άθροιση των ημερήσιων θερμοκρασιών πάνω από τη βασική θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας.

2.3.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

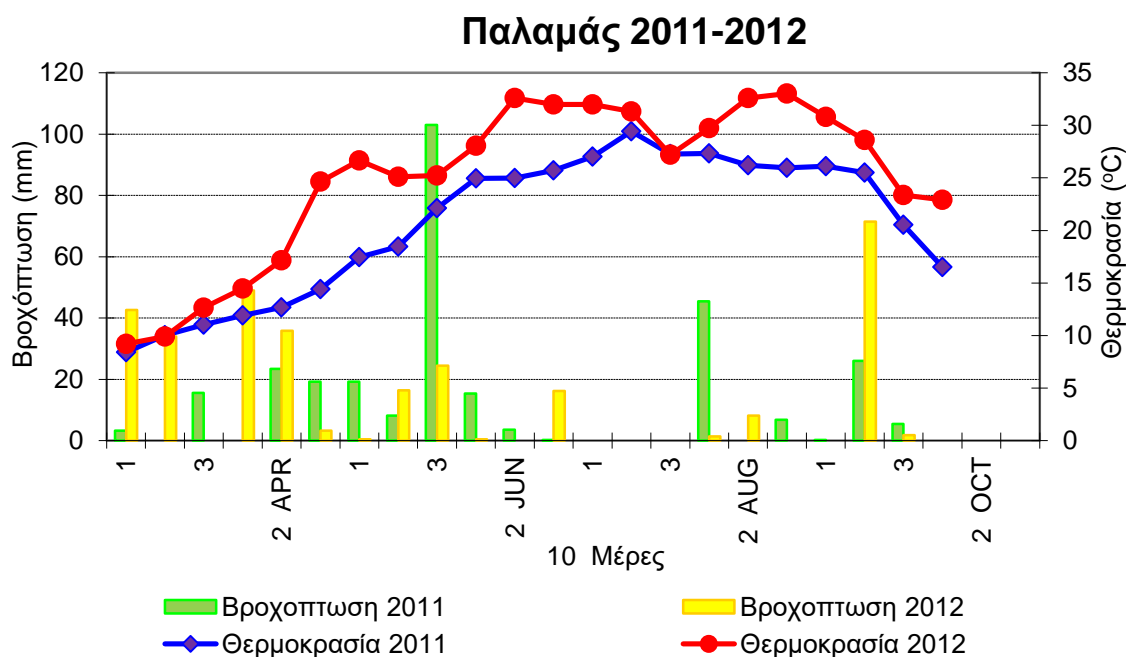
Πραγματοποιήθηκε συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων με την βοήθεια ενός αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού. Ο μετεωρολογικός σταθμός περιλαμβάνει καταγραφέα τύπου DATALOG 2 ERIES της εταιρίας SKYE INSTRUMENTS LTD., ο οποίος απαρτίζεται από τους παρακάτω αισθητήρες μέτρησης:

1. Φωτός (PYRANOMETER)
2. Θερμοκρασίας (THERMISTORS)
3. Βροχόπτωσης (ARG 100)
4. Ταχύτητας ανέμου (THIES CLIMA)

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Το πείραμα όπως προαναφέρθηκε πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας. Οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες στο παρακάτω σχήμα φαίνεται οι μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας.



Σχήμα 3.1. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2011 και 2012 στον Παλαμά Καρδίτσας.

Όπως φαίνεται η μέση θερμοκρασία αέρος κατά τους μήνες ανάπτυξης καλλιέργειας (Απρίλιος- Οκτώβριος) στην περιοχή του Παλαμά ήταν 22,4°C για το 2011 και 26,5°C το 2012. Τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος-Αύγουστος) η μέση θερμοκρασία ήταν 26,5°C το 2011 και το 2012 30,9°C. Φαίνεται ότι το καλοκαίρι του 2012 ήταν το πιο θερμό .

Όσον αφορά την βροχόπτωση παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο ανάπτυξης τιμές 310,6 mm το 2011 και 228,6 mm το 2012. Τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση στην περιοχή ήταν 71,4 mm το 2011 και 26,2 mm το 2012. Η βροχόπτωση στην περιοχή του Παλαμά χαρακτηρίζεται λιγοστή.

3.2 Αύξηση ανάπτυξη

Το switchgrass είναι καλλιέργεια πολυετής με κύκλο ζωής που κυμαίνεται από 12 έως 14 χρόνια. Με κατάλληλες θερμοκρασίες εδάφους και αέρος

(σταθερή θερμοκρασία από 10 έως 12 βαθμούς) το φυτό επαναβλαστάνει. Είναι φυτό μικρής ημέρας και η ανάπτυξη του επηρεάζεται άμεσα από το μήκος της ημέρας. Για επιμήκυνση του στελέχους χρειάζονται περίπου 1020 θερμοημέρες για την συγκεκριμένη ποικιλία (ποικιλία Alamo).

3.2.1 Ύψος φυτού

Παρατηρήθηκε ότι το ύψος των φυτών επηρεάστηκε μόνο κατά το έτος 2012 με μέγιστο ύψος φυτών περί τα 2,63m.

Πίνακας 3.1. Ύψος του φυτού σε συνάρτηση την άρδευση και λίπανση για τις χρονιές 2011 και 2012 (LSD: λιγότερο σημαντική διαφορά σε $P < 0,05$, ns: όχι σημαντική).

ΎΨΟΣ (m)					
	2011	2012		2011	2012
Επίπεδα άρδευσης			Αλληλεπίδραση (Άρδευση Και Λίπανση)		
I1 (0 mm)	2,01	2,31	I1N1	1,96	2,22
I2 (250 mm)	2,01	2,47	I1N2	2,01	2,05
LSD _{0,05}	ns	Ns	I1N3	2,05	2,56
Επίπεδα λίπανσης (kg N ha ⁻¹)			I1N4	2,02	2,42
N1:0	2,05	2,26	I2N1	2,14	2,31
N2 :80	1,92	2,22	I2N2	1,83	2,38
N3:160	2,01	2,56	I2N3	1,97	2,55
N4:240	2,06	2,53	I2N4	2,1	2,63
LSD _{0,05}	ns	0,258	LSD _{0,05}	ns	ns
			CV%	8,4	10,3

3.2.2 Ξηρό Βάρος

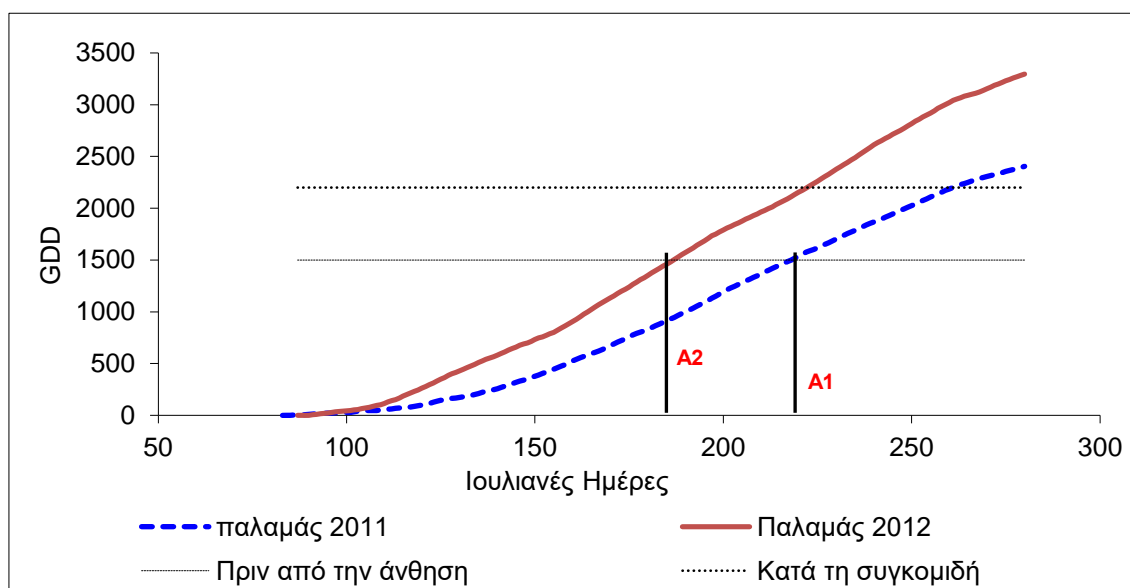
Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ποσότητες του ξηρού βάρους για τους παράγοντες μελέτης (άρδευση και λίπανση). Η ξηρή βιομάζα κατά το θερμό και ξηρό έτος του 2012 επηρεάστηκε τόσο από την άρδευση όσο και από την λίπανση. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.2 οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις σημείωσαν στατικώς σημαντικές διαφορές και η συγκομισθείσα βιομάζα άγγιξε τους 2,3 t/στρ.

Στην περίπτωση της αζωτούχου λιπάνσεως παρήγαγαν τα 2 υψηλότερα επίπεδα λίπανσης παρήγαγαν υψηλότερη βιομάζα που στατιστικώς διέφερε από τα υπόλοιπα επίπεδα λίπανσης. Συγκεκριμένα το N3 παρήγαγε 2,94 t/στρ.

Πίνακας 3.2. Ξηρό βάρος του φυτού σε συνάρτηση την άρδευση και λίπανση για τις δυο χρονιές 2011 και 2012 (LSD: λιγότερο σημαντική διαφορά σε $P < 0,05$, ns: όχι σημαντική).

Ξηρο Βάρος (t/στρ)					
	Παλαμάς 2011	Παλαμάς 2012		Παλαμάς 2011	Παλαμάς 2012
Επίπεδα άρδευσης			Αλληλεπίδραση (Άρδευση Και Λίπανση)		
I1(0mm)	2,32	1,97	I1N1	1,92	1,61
I2(250mm)	2,65	2,28	I1N2	2,63	1,44
LSD _{0.05}	ns	0,17	I1N3	2,61	2,61
Επίπεδα λίπανσης (kg N ha ⁻¹)			I1N4	2,02	2,21
N1:0	2,25	1,78	I2N1	2,58	1,95
N2:80	2,62	1,64	I2N2	2,61	1,85
N3:160	2,77	2,66	I2N3	2,94	2,71
N4:240	2,29	2,42	I2N4	2,46	2,63
LSD _{0.05}	ns	0,51	LSD _{0.05}	ns	0,63
			CV%	33,5	22,9

3.2.3 Μεταβολή βάρους των φυτικών οργάνων



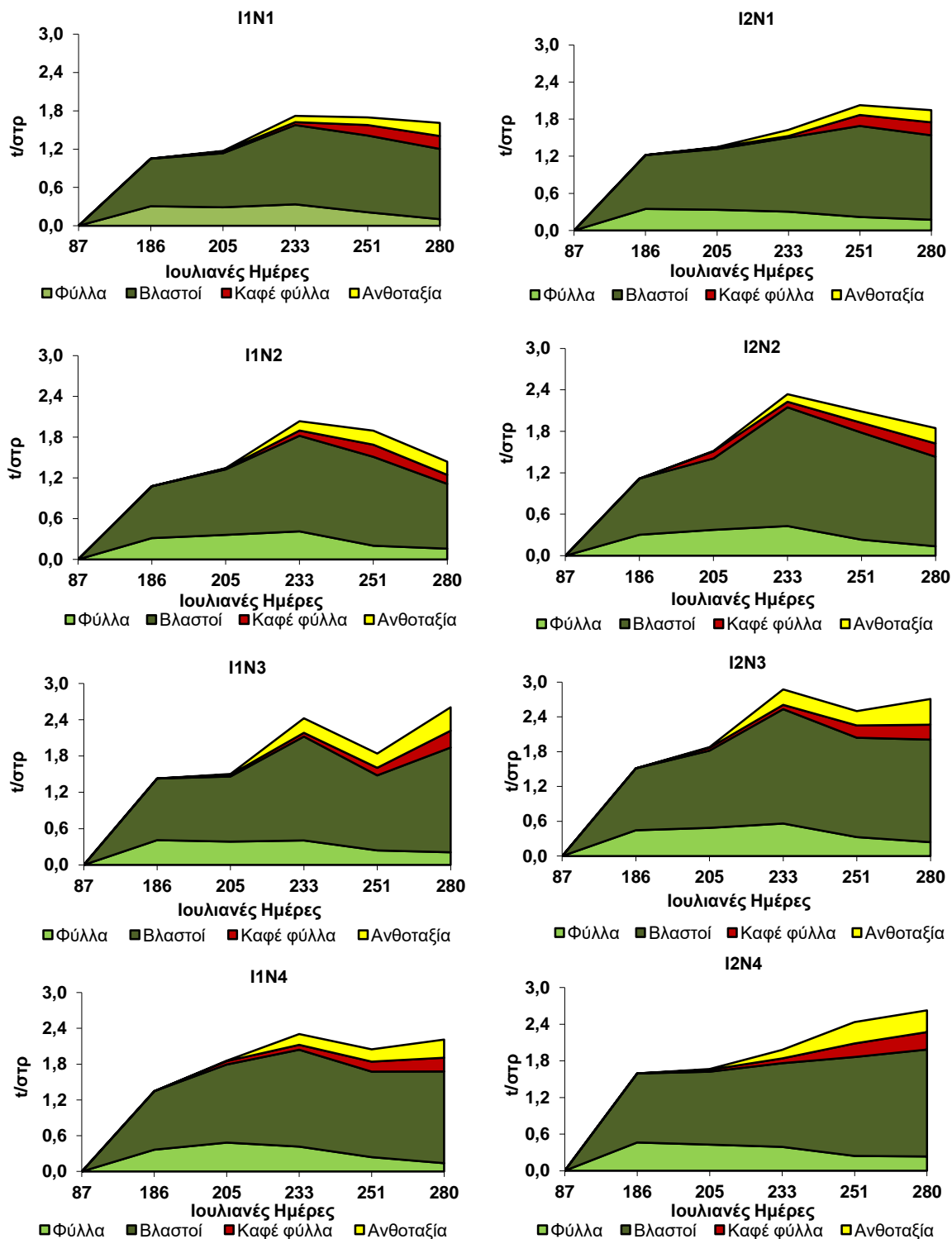
Σχήμα 3.2. Μεταβολή των θερμοημερών (Growing Degree Days – GDD) για την περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των ετών 2011 και 2012. Σημείο έναρξης ανθοφορίας: A1 το 2011, A2 το 2012. Ανθοφορία: η πρώτη οριζόντια γραμμή(-----) Ωρίμανση: η δεύτερη οριζόντια γραμμή(.....).

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των θερμοημερών για την καλλιέργεια του switchgrass για το 2011 και το 2012. Παρατηρήθηκε ότι η καλλιέργεια εισέρχεται στο στάδιο της ανθοφορίας περίπου την 210^η Ιουλιανή ημέρα (1500 GDDs) για το 2011 ενώ το θερμό και ξηρό καλοκαίρι με τις παρατεταμένες και υψηλές θερμοκρασίες που επικράτησαν στην περιοχή εισέρχεται στο στάδιο της ανθοφορίας σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα (περίπου 190^η Ιουλιανή ημέρα), κάνοντας την καλλιέργεια να πρωιμίσει.

Η ωρίμανση των σπόρων, η οποία συμπίπτει με το στάδιο της συγκομιδής–ωρίμανσης του φυτού, έλαβε χώρα την 227^η Ιουλιανή ημέρα για την καλλιεργητική περίοδο του 2012 και την 256^η Ιουλιανή το 2011, δηλώνοντας ακόμη μια φορά την πρωίμιση της καλλιέργειας.

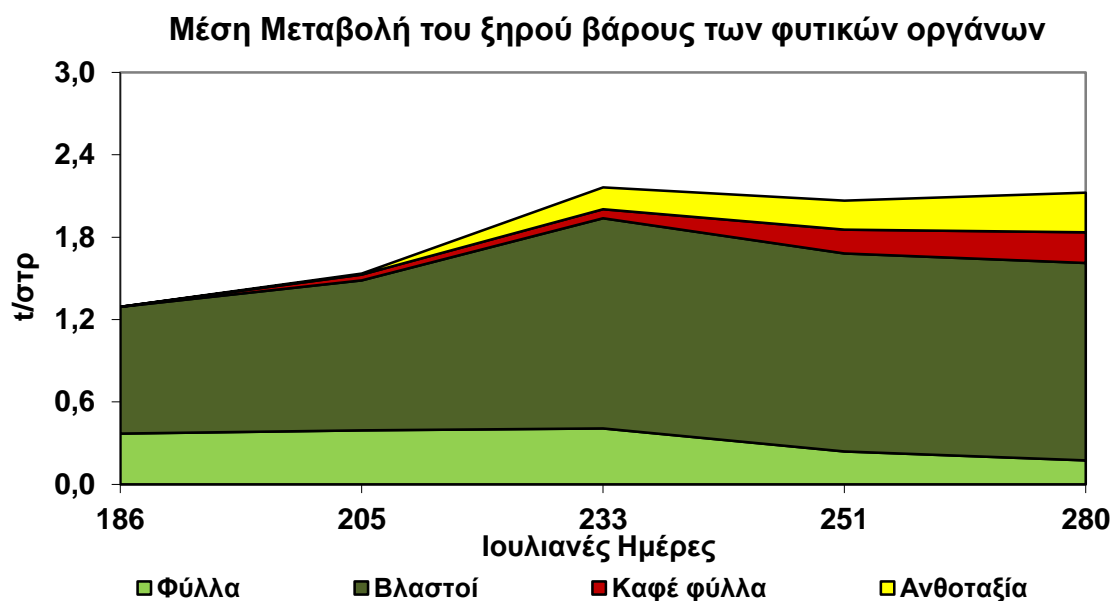
Γενικότερα η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλές αποδόσεις και στα δυο επίπεδα άρδευσης λόγω του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που έχει η περιοχή.

Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων



Σχήμα 3.3. Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1:αριστερα ,I2:δεξια) και των 4 επιπέδων αζωτούχου λίπανσης (N1:1^η, N2: 2^η, N3:3^η, N4:4^η) στην περιοχή του Παλαμά.

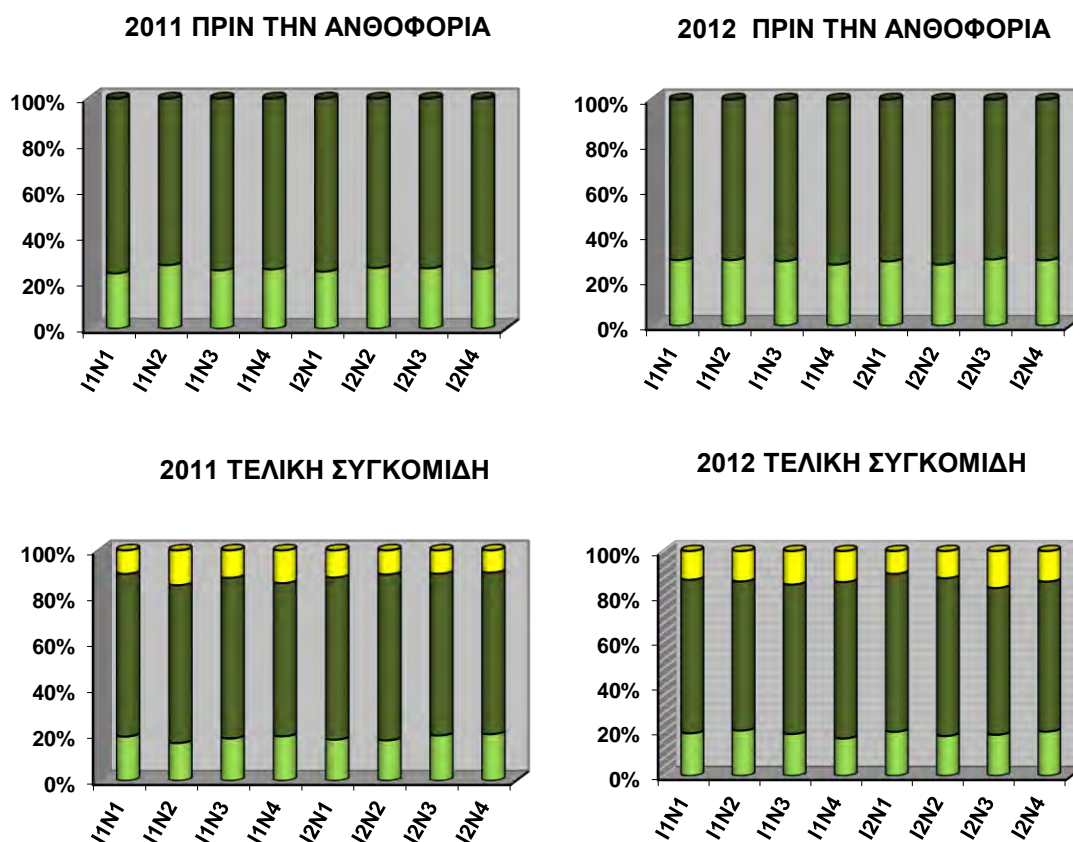
Στο σύνολο όλων των μεταχειρίσεων το switchgrass συνέχισε την αύξηση της ξηρής βιομάζας από την επαναβλάστηση μέχρι την ωρίμανση.



Σχήμα 3.4. Μέση μεταβολή ξηρής βιομάζας των φυτικών οργάνων για την περιοχή του Παλαμά.

Το switchgrass έχει τη δυνατότητα να παράγει μέχρι και το 1/3 του δυναμικού της παραγωγής του κατά το πρώτο έτος εγκατάστασης και τα 2/3 του δυναμικού του το αμέσως επόμενο έτος μετά τη σπορά (Bransdy, 2008). Από το σχήμα φαίνεται πως μέχρι την ανθοφορία του φυτού οι διαφορετικές μεταχειρίσεις αζωτούχου λίπανσης δε φέρουν μεγάλες αλλαγές στην παραγωγή του συνολικού ξηρού βάρους. Οι διαφορές είναι μικρές και δεν είναι στατιστικά σημαντικά υπολογίσιμες πριν την ανθοφορία τα φύλλα καταλάμβαναν το 35 % του φυτού, ενώ το 65% αποτελούνταν από το βλαστό και για τις δυο χρονιές (2011, 2012). (Σχήμα 3.5).

Παλαμας 2011-2012



Σχημα 3.5. Διαχωρισμός του switchgrass (φυλλα ,βλαστοί, ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από τα 2 επίπεδα αρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα αζωούχου λιπανσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια αναπτυξης του φυτού (πριν την ανθοφορία και την τελική συγκομιδή) για τις χρονιές 2011 και 2012.

Ο λόγος των επιμέρους οργάνων του φυτού προς την συνολική βιομάζα κατά το στάδιο της ωρίμανσης και στη συνέχεια για την χρονία του 2011 σταθεροποιείται ως εξής: 19-22%, 68-71% και 10-12% για τους λόγους φύλλα/συνολική βιομάζα ,βλαστοί/συνολική βιομάζα και ανθοταξίες /συνολική βιομάζα αντιστοίχα. Παρατηρήθηκε λοιπόν πως οι λόγοι αυτοί παραμένουν σταθεροί ανεξαρτήτως ηλικίας του φυτού και μετεωρολογικών συνθηκών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιέργεια του φυτού switchgrass και συγκεκριμένα της ποικιλίας Alamo στη Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα δείχνει να έχει εύκολη προσαρμοστικότητα με υψηλή παραγωγή βιομάζας λόγω της ύπαρξης του υψηλού υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και του πλούσιου ριζικού συστήματος της καλλιέργειας.

Η καταλληλότερη ποσότητα λίπανσης για την αύξηση της παραγωγής παρατηρήθηκε να είναι η λίπανση με 8-16 kg N/στρ, καταστρώντας την καλλιέργεια ως καλλιέργεια χαμηλών εισροών.

Το ύψος των φυτών επηρεάστηκε μόνο κατά το έτος 2012, το οποίο ήταν και πιο θερμό και ανάγκασε την καλλιέργεια να πρωϊμίσει μειώνοντας τον βιολογικό της κύκλο κατά 20 περίπου ημέρες. Το μέγιστο ύψος φυτών που σημειώθηκε ήταν 2,63m.

Το μέγιστο ξηρό βάρος που παρατηρήθηκε στην περιοχή ήταν το 2011 (2,94 t/στρ), υποδηλώνοντας πως η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να παράγει αρκετά υψηλές ποσότητες βιομάζας με χαμηλές εισροές.

Η σύνθεση της βιομάζας πριν την ανθοφορία ήταν περίπου 27-30% φύλλα και 70-73% βλαστοί, ενώ κατά την περίοδο ωρίμανσης (συγκομιδή) ήταν 19-22% φύλλα, 68-71% βλαστοί και 10-12% ανθοταξία και τις δύο χρονιές.

Για τους παραπάνω λόγους θα μπορούσε κανείς να πει πως η καλλιέργεια του switchgrass αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια χαμηλών εισροών και υψηλής παραγωγής βιομάζας με σταθερή κατανομή άνθρακα για τη δυτική Θεσσαλία.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Μήτσος Ι, 2006. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel (3^η έκδοση).

Σουτερ Χ.Α (1996), “Βιομάζα μια πηγή ενέργειας που θα παίξει καθοριστικό ρόλο στη χώρα μας”, Πρακτικά διημερίδας “Δυνατότητες συμβουλής της βιομάζας στη γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας”. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ιούνιος 1996,Θεσσαλονίκη

Στοιμένιδης Α, Κωτσόπουλος. Θ, Μαρτζόπουλος. Γ,” ΒΙΟΜΑΖΑ: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ”.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Alexopoulou E, Sharma N, Papatheohari Y, Christou M, Piscioneri I, Panoutsou C, Pignatelli V, (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region. Biomass and Bioenergy 32:926-933.

Boateng AA, Hicks KB and Vogel (2006). Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum*) harvested at several stages of maturity. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 75:55-64.

Carter J (2011). Plant Fact Sheet, Switchgrass (*Panicum virgatum* L). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Plant Materials Program.

Cowie AL, Smith P and Johnson D (2006). “ Does soil carbon loss in biomass production systems negate the greenhouse benefits of bioenergy? ” Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11: 979-1002.

Girouard P and Samson R (2000). The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry. Making a case for agri-fibres. Pulp and Paper Canada 101(10): 53-55

Guretzky J, Butler T, Bouton J, Owens V and Boe A (2009). Planting and Managing Switchgrass as a Dedicated Energy Crop. Blade Energy Crops.

Hamelinck CN, Hooijdonk van G and Faaij APC (2005). “Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-, and long term”. Biomass & Bioenergy 28:384-410

Lawrence J, Cherney J, Barney P and Ketterings Q (2006). Establishment and Management of Switchgrass. Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet 20. Cornell University Cooperative Extension.

Lee DK, Owens VN, Doolittle JJ (2007). Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on Conservation Reserve Program land. *Agronomy Journal* 99: 462–468.

Lewandowski I, Scurlock JO, Lindvall E and Christou M (2003). “The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe”. *Biomass and Bioenergy* 25: 335-361.

Mani S, Sokhansanj S, Bi X and Turhollow A (2006). “Economics of Producing Fuel Pellets from Biomass”. *Applied Engineering in Agriculture* 22(3): 421–26.

McLaughlin SB, Bouton JH, Bransby DI, Conger BV, Ocumpaugh WR, Parrish DJ, Taliaferro CM, Vogel KP, Wullschlegel SD (1999). Developing switchgrass as a bioenergy crop. In: Janick JJ, editor. *Proceedings of the fourth national new crops symposium*. Alexandria, VA: NASHS Press; 282–99.

Moser LE, Vogel KP (1995). Switchgrass, big bluestem and Indiangrass. In: Barnes RF, Miller DA, Nelson CJ (eds) *Forages, an introduction to grassland agriculture*, vol 1. Iowa State University Press, Ames.

Parrish D, Fike J (2005). The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 423–459.

Rinehart L (2006). Switchgrass as a Bioenergy Crop. National Center for Appropriate Technology (NCAT). A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.

Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Moser LE, Eskridge KM, Perrin RK (2006). Establishment stand thresholds for switchgrass grown as a bioenergy crop. *Crop Science* 46: 157–161.

Thomason WE, Raun WR, Johnson GV, Taliaferro CM, Freeman KW, Wynn KJ, Mullen RW (2004). Switchgrass response to harvest frequency and time and rate of applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1199–1266.

Wolf DD and Fiske DA (2009). Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife, and Conservation. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and Virginia State University. Publication 418-013.